

# 给 CO<sub>2</sub> 找个“地下安全屋”

## ——石油物探技术如何为地球“降温”？

中国石油东方物探公司新兴物探经理部

黄元溢 王天云 王 浩

夏天越来越热？极端天气越来越多？这背后，不断增加的二氧化碳（CO<sub>2</sub>）等温室气体“功不可没”。为了给地球“降温”，我国提出了“3060 双碳”目标，即二氧化碳排放力争于 2030 年前实现碳达峰，2060 年前实现碳中和。当前，在众多减碳技术中，“二氧化碳捕获和封存”（简称 CCS）就像给 CO<sub>2</sub> 找一个“地下安全屋”，把它长期“封印”起来，不让它跑到大气中“捣乱”。而中国石油东方物探公司新兴物探经理部，正用一系列“物探黑科技”给这个“安全屋”做“体检”“设计”和“监理”，让 CO<sub>2</sub> 乖乖待在地下，为地球降温，造福人类。

### 一、为什么要给 CO<sub>2</sub> 找“安全屋”？

我们每天开车、用空调、工厂生产，都会产生大量 CO<sub>2</sub>。这些气体像一层“棉被”裹住地球，让热量散不出去，导致全球变暖。要实现“双碳”目标，光减少排放还不够，还得想办法“回收”已经产生的 CO<sub>2</sub>。

CCS 技术就是这样一套“回收系统”：先把工厂、电厂等排放源的 CO<sub>2</sub> “抓”住（捕获），再通过管道运到合适的地下空间，最后“锁”起来（封存）。这套技术是我国实现双碳目标的重要战略选择，也是中国石油“绿色行动计划三步走”的关键一环：到 2025

年左右实现清洁替代，2035 年左右良好布局新能源，2050 年实现战略接替，最终完成绿色转型。

但问题来了：什么样的 “地下空间” 能当好这个 “安全屋”？可不是随便找个山洞就行的。

## 二、合格的 “地下安全屋” 有啥标准？

想象一下，如果你要找一个长期存放贵重物品的仓库，你会关注什么？位置安全、空间够大、方便运输、不影响周围环境…… 给 CO<sub>2</sub>找 “安全屋”（专业叫 “封存体”）也是一个道理，得满足五大硬指标：

**地质稳定：**就像仓库不能建在地震带上，封存体所在的地下区域必须 “脾气好”，不能有频繁的地质活动，否则 CO<sub>2</sub>可能会 “越狱” 泄漏。

**空间够大：**得能装下巨量 CO<sub>2</sub>。比如一个大型电厂每年排放的 CO<sub>2</sub>可能达百万吨级，封存体的 “肚子” 必须足够大，才能满足长期储存需求。

**运输方便：**最好离排放源或管道近，就像仓库离送货点近能省运费，这样能降低 CO<sub>2</sub>的运输成本和难度。

**环境友好：**封存过程不能破坏周边生态，比如不能污染地下水、影响植被，要与自然和谐共处。

**技术可行：**现有的技术能搞定注入、监测等操作，确保 “存放” 过程安全高效。

目前，适合当“安全屋”的地方主要有几类：枯竭的油气田（用完的“油桶”正好再装 CO<sub>2</sub>）、陆地咸水层（地下深层含钙、镁等矿化度较高水层，空间巨大）、不可开采的煤层等。但这些地方藏在地下数千米，怎么才能找到它们，还得靠“地球医生”——物探技术。

### **三、给地球做“CT”：物探技术如何“透视”地下？**

物探技术，简单说就是用地球物理方法“给地球做体检”。就像医生用 CT、B 超看人体内部结构一样，物探工程师用地震波等“地下回声”来描绘地下结构。东方物探公司作为全球物探行业的“全能选手”，专门给这些潜在的“安全屋”做“精细体检”，解决三个关键问题：看得清、封得住、存得多。

#### **第一关：看得清 —— 给地下结构画“高清地图”**

要找“安全屋”，首先得知道地下长啥样。但地下环境复杂，比如有些地区地表覆盖着厚厚的黄土，就像给地球盖了层“棉被”，干扰了地震波的“信号”，导致“图像”模糊、噪音大。

东方物探的工程师们想出了妙招：

**给黄土“测湿度”：**黄土的湿度会影响地震波的传播。他们发明了“黄土湿度测量井中装置”，能精准算出黄土的含水率。就像给土壤“量体温”，找到最适合激发地震波的深度，让“信号”更清晰。比如在湿度 15% 的地方激发的地震波，比 9% 的地方“音质”好得多，能更清楚地反映地下情况。

**让“观测点”排好队：**地震波的“观测点”（炮点）如果分布不均，就像拍照时镜头没对准，画面会变形。工程师们用“方位各向异

性参数”来评价炮点是否均匀，就像指挥队伍站成整齐的方阵，确保每个角度都能拍到清晰的“地下照片”。

**给数据“去杂音”：**采集到的地震数据可能夹杂各种“噪音”，他们用“数据筛选去噪与一致性处理”技术，就像给数据降噪，让有效信号更加突出，最终测出的地下结构精度大大提高。

## **第二关：封得住 —— 给“安全屋”装“防盗锁”**

找到“安全屋”后，得确保它能把 CO<sub>2</sub>牢牢锁住，不能漏。这就像给仓库装“防盗锁”，关键看两部分：“屋顶”（盖层）和“墙壁”（断层）。

**给“屋顶”做“抗压测试”：**盖层是封存体上方的岩层，就像仓库的屋顶，必须结实不透气。工程师们开发了“智能多因素盖层稳定性分析技术”，综合考虑盖层的厚度、孔隙度、抗压能力等。通过计算盖层能承受的压力（就像测试屋顶能扛住多少重量），判断它是否能挡住 CO<sub>2</sub>。比如一套厚度超过 100 米、渗透率低于 0.01 毫达西的盖层，就是优质“屋顶”。

**给“墙壁裂缝”查隐患：**地下断层就像墙壁上的裂缝，可能成为 CO<sub>2</sub>泄漏的“通道”。他们用“断层封堵性定量分析技术”，计算断层的泥质含量、渗透率等。就像检查墙壁裂缝的“密封度”，如果断层泥质多、渗透率低，说明“裂缝”被堵死了，CO<sub>2</sub>跑不出去；反之则风险高，不能选。

## **第三关：存得多 —— 算算“安全屋”能装多少货**

“安全屋”空间够不够大？能装多少 CO<sub>2</sub>？这需要精准计算。工程师们结合“地球物理反演”和“CO<sub>2</sub>渗流模型”，就像给仓库做“容量规划”，不仅算体积，还得看 CO<sub>2</sub>在里面的“流动路线”。

**模拟 CO<sub>2</sub>的“行走路线”：**CO<sub>2</sub>在地下不是静止的，会像水一样流动。他们建立了“CO<sub>2</sub>渗流模拟模型”，考虑岩石的孔隙度、渗透率等，模拟 CO<sub>2</sub>注入后如何扩散、停留。比如孔隙度高、渗透率适中的岩层，能让 CO<sub>2</sub>均匀分布，储存量更大。

**评估整体“仓储能力”：**综合地质条件、储层大小等，给每个潜在封存体打分。比如储层厚度超过 80 米、孔隙度大于 15%的，就是“大容量仓库”；厚度小于 30 米、孔隙度低于 10% 的，就只能算“小储藏柜”。

#### **四、成果：从技术到实践，给地球降降温**

经过这套“组合拳”，东方物探已经形成了一套针对 CCS 的高精度物探技术体系，并在鄂尔多斯盆地等地区成功应用。

**找对了“安全屋”：**成功实施了神华煤制油、榆林化工等 CCS 项目，精准找到了能封存 1143 万吨 CO<sub>2</sub>的“地下仓库”。这相当于给地球减少了 2.4 亿棵树才能吸收的 CO<sub>2</sub>，够 100 万辆车跑 5 年的排放量。

**技术领先国际：**目前全球针对 CO<sub>2</sub>封存地质选址评价的物探技术还不多，东方物探的研究成果达到国际先进水平，相关论文在国际会议上获奖，为全球减碳提供了“中国方案”。

随着“双碳”目标推进，我国每年需要减排的 CO<sub>2</sub>超过 2.6 亿吨，CCS 技术的市场潜力巨大。东方物探的工程师们还在继续升级

技术，比如用人工智能更精准地预测储层，用三维地震技术实现“全流程监控”。

从捕获到封存，每一步都凝聚着中国石油人的智慧和担当。给CO<sub>2</sub>找“安全屋”，不仅是一项技术创新，更是对地球的承诺。相信在这些“黑科技”的守护下，地球会慢慢“降温”，我们的夏天会越来越清凉，未来会越来越绿色。

中国石油，正在用科技的力量，为地球编织一张“低碳防护网”。而这张网的每一根线，都藏着对美好生活的向往。